

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-167101

(43)Date of publication of application : 02.07.1993

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 03-351646

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 12.12.1991

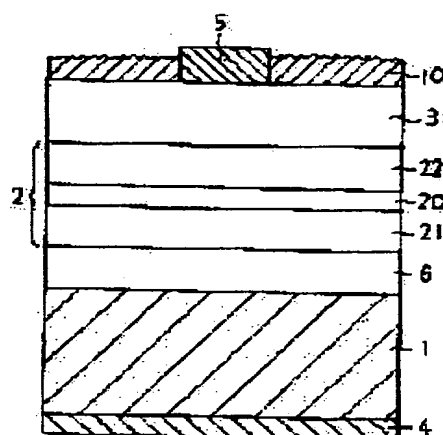
(72)Inventor : UNNO KAZUMI  
NOZAKI HIDEKI

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a semiconductor light emitting element which can effectively utilize light by improving its light emitting efficiency.

CONSTITUTION: The title light emitting element has a light scattering layer 10 formed on the surface of the element on the side from which the light is taken out from a light emitting layer 2. The light scattering layer 10 is formed on the surface of a current diffusing layer 3 formed on the light emitting layer 2 by using a material having a lattice constant which is different from that the layer 3 has. After the layer 10 is grown on the layer 3, the surface of the layer 10 is roughened.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3152708

[Date of registration] 26.01.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-167101

(43)公開日 平成 5 年(1993) 7 月 2 日

(51)IntCl<sup>5</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

A 8934-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平3-351646

(22)出願日 平成 3 年(1991)12月12日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 海野 和美

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝堀川町工場内

(72)発明者 野崎 秀樹

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝堀川町工場内

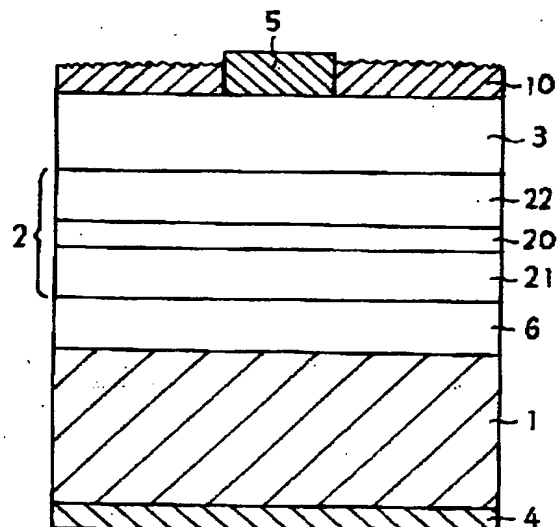
(74)代理人 弁理士 竹村 壽

(54)【発明の名称】 半導体発光素子

(57)【要約】

【目的】 発光効率を上げて光を有効に利用することができる半導体発光素子を提供する。

【構成】 半導体発光素子は、発光層 2 の光を取り出す側の表面上に光散乱層 10 を形成する。この層は、発光層 2 の上に形成された電流拡散層 3 に設けられ、電流拡散層とは格子定数が異なる材料を用いる。そして、その電流拡散層 3 の上に光散乱層 10 を成長させて表面を粗面化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層を含む発光層と、

この発光層の上に形成され、光取出し面を有する光散乱層と、

前記発光層もしくは前記光散乱層の上に形成された光取出し側電極とを備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 活性層を含む発光層と、

この発光層の上に形成された電流拡散層と、

この電流拡散層の上に形成され、光取出し面を有する光散乱層と、

前記電流拡散層もしくは前記光散乱層の上に形成された光取出し側電極とを備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】 前記発光層は、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合もしくはホモ接合のいずれかを備えていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記発光層がInGaAlP系混晶半導体を活性層として備えている半導体発光素子において、前記光散乱層は、GaP、ZnS、ZnSeおよびZnSe-ZnSから選ばれる材料を用いることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項5】 前記光散乱層の厚さは、0.5 $\mu$ m以上であり、その光散乱層の半導体結晶の格子定数は、その底面と接する半導体結晶の格子定数とは0.3%以上異なっていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記発光層の前記光散乱層が形成されている面とは反対側の表面には、半導体基板が設けられ、この半導体基板の前記発光層が形成されている面とは反対側の表面には、基板側電極が設けられていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項7】 前記半導体基板のバンドギャップが、前記活性層のバンドギャップとほぼ同じか、あるいはそれより大きいバンドギャップを有するように半導体基板材料を選ぶと共に、前記基板側電極は、水玉模様の形状を有していることを特徴とする請求項6に記載の半導体発光素子。

【請求項8】 前記光取出し側電極の直下には光反射層を形成したことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、輝度を高めた構造を有する半導体発光素子に関するもので、とくに表示用光源、例えば駅構内など屋内用情報表示板や、屋外のビル広告板や道路の表示板、自動車のストップランプ、信号機などに使用される半導体発光素子に関するものであ

る。

## 【0002】

【従来の技術】半導体結晶を用いた発光素子としては、発光ダイオード(LED, Light Emitting Diode)、レーザーダイオード(LD, Laser Diode)、エレクトロルミネッセンス(EL, Electro-Luminescence)等が知られている。前二者は、半導体接合に順方向電圧をかけ、少数キャリアを注入して接合部で多数キャリアとの再結合を起こし、このとき放出される光を利用する素子である。エレクトロルミネッセンスは、結晶体に電界を加えたときに発光する現象である。印加電圧としては直流、交流いずれでも可能である。これら半導体発光素子の中でも発光ダイオード、とくに、高輝度のLEDは、表示用光源、たとえば屋内や駅構内用情報表示板、道路表示用情報板、自動車のストップランプ、信号機等に使用されている。また、低電流でも高輝度であるために従来よりも省エネルギータイプの表示用光源として用いられる。このような分野に使用されるLEDとしては次のようなものがある。まず、赤色発光素子としては、ピーク波長が630nm程度のGaAsP赤色LEDおよびピーク波長が660nm程度のGaAlAs赤色LEDがあり、橙色発光素子としては、ピーク波長が610nm程度のGaAsP橙色LED、黄色発光素子としては、ピーク波長が590nm程度のGaAsP黄色LEDが、更に緑色発光素子としては、ピーク波長が565nm程度のGaP緑色LEDが用いられている。各々の素子の輝度は、GaAsPLEDで300mcd前後、GaAlAs赤色LEDではシングルヘテロ(SH)構造の場合、500mcd前後、GaAs基板を取り除いた型のダブルヘテロ(DH)構造の場合3000mcd前後、GaP緑色LEDでは500mcd前後が得られている。なお、半導体発光素子を形成する主な手段としては、厚膜形成法として周知のエピタキシャル結晶成長法である気相成長法(VPE)や液相成長法(LPE)が知られており、VPEは、GaAsPの形成、LPEは、GaAlAs、GaP等の形成にそれぞれ適している。その他に有機金属を用いたVPE(MOVPE: Metal Organic Vapour Phase Epitaxy)やMBE(Molecular Beam Epitaxy)などの方法が知られている。

【0003】従来技術の一例を図5により説明する。半導体基板1には、不純物濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度のn-GaAs基板を用いる。このn-GaAs基板1上に、厚さ1 $\mu$ m、不純物濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn-In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub> Pクラッド層21、厚さ0.6 $\mu$ mのアンダーブレイク層2<sub>1</sub>、厚さ0.6 $\mu$ mのアンダーブレイク層2<sub>2</sub>、さらに、厚さ7 $\mu$ m、不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As電流拡散層3を順次たとえばMOVPE法で成長させる。次に、基板1の他の

表面には、例えば、Au-Geなどのn側電極4をオーミックコンタクトさせ、反対側の電流拡散層3上には、例えば、Au-Znなどのp側電極5をオーミックコンタクトさせる。電流拡散層3であるGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As層はp側電極5からの電流をLEDチップ全面に拡散させるために設けられたものであるが、発光素子として必ずしも必要ではなく、これを用いないものもある。図では、uが0.7の場合を示した。この層の存在によって、活性層全域で発光させることが可能になるので、チップからの光取出し効率を大幅に改善することができる。これらの各種成長層はGaAs基板と格子整合がとれていることおよびダブルヘテロ構造であること、活性層のyを0~0.7まで変化させると約660nmの赤色発光から約555nmの緑色発光の範囲で直接遷移型バンド構造が得られことおよびダブルヘテロ構造を用いることなどにより高い発光効率を得られる。この例では、電流拡散層側から光が取り出されるので、p側電極5が、光取出し側電極となる。光取出し側電極は、通常ボンディングパッドによって外部配線と接続されている。

【0004】なお、この種の発光素子において、発光に直接寄与する部分は、活性層2とこの活性層を挟む1対のクラッド層21、22であるので、ここでは、これらの層をまとめて発光層2と定義する。この素子は、発光層2でのpn接合がダブルヘテロ構造であるが、以下、シングルヘテロやホモ接合などの他の構造の素子の場合でも発光に直接寄与する部分は発光層と称する。

【0005】ところで、例えば、屋外用の表示用光源の場合、各々の発光色領域においてlcd以上の輝度が必要である。赤色領域では直接遷移型であるGaAlAsLEDはlcd以上の輝度が容易に得られているが、赤色より短波長領域では間接遷移型であるGaAsPLEDやGaPLEDを使用しているため、500mcd程度がほぼ限界とみられ、屋外用として十分に機能していないのが現状である。したがって、これらの色のLEDを屋外用に使用する場合は、GaAlAs赤色LEDなら1個ですむところが、複数個使用せざるを得ないのでコストアップとなる。後述するように直接遷移型であるInGaAlPLEDにおいても十分な輝度が得られない。この原因の1つに、発光した光を有効に活用していないことが挙げられる。前述した電流拡散層の存在によって、効率良く発光することは出来るが、その光を十分生かすことができない。発光層2から出た光は、一部はそのまま光取出し側の表面から外部へ出るが、一方、半導体基板が透明な場合反対側の下方へ向かった光はn側電極を、例えば、水玉形状にしておけば、水玉電極以外の所の基板表面で反射され、上方の光取出し側表面から外部へ出て、また、基板の側面からも光が外部に放射されるので、下方に向かった光も有効に外部に取り出すことができる。

【0006】しかし、例えば、発光層における活性層としてバンドギャップの大きいInGaAlP系混晶半導体を用いた発光素子を考えると、半導体基板1がバンドギャップの小さいGaAs等の材料の場合、発光層は短波長を発光するので、発せられる光の多くはこの基板に吸収されてしまう。したがって下方に向かった光は、外部に取り出すことは出来ない。そのため半導体基板には、光吸収の少ないものを選ばなければならないので、材料が限定されてしまう。従来は、半導体基板による光の吸収を防いで、発光効率を上げると同時に基板材料の選択の範囲を広げるために、発光層と半導体基板の間に光反射層を形成していた。発光層2から出た光は、下方の半導体基板1の方向に向かっても、この光反射層によって反射されて半導体基板による光の吸収は防がれる。この光反射層は、例えば、発光層の直下に屈折率の異なる二種類以上の物質を、光の波長の1/4倍相当もしくはこれに比例した相当の厚さに交互に積層して形成する。電流拡散層としては、Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As層が良く知られている材料である。一方、光反射層を設けず下方に向かった光を外部に取り出す方法としては例えばGaAs基板の代りにGaP基板を使用したInGaAlP-LEDがある。GaP基板はInGaAlP-LEDの発光色（緑色～赤色）に対して透明なため反射層を設ける必要はない。しかしこの場合はGaP基板とIn<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pとの格子不整合による格子欠陥が多発するため発光効率が低下し効果的に輝度の高いLEDが得られない。この対策としてIn<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pを成長させる前に先ずGaP基板上に組成比が少しずつ変化するIn<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>P組成勾配層(v=1→0.5)を成長させることによりGaP基板とIn<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pとの間の格子定数の違いを吸収させる方法がとられている。In<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>P組成勾配層の代りにIn<sub>1-y</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>y</sub>P組成勾配層(v=1→0.5)としても良い。また、発光層と光取出し電極の間に光反射層を設けて、光取出し電極によって反射された光を有効に取り出すようにした半導体発光素子も、本発明の発明者等によって開発されている（特願平3-163359号）。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、活性層と半導体基板との間、もしくは、光取出し側電極と活性層との間に挿入された光反射層および電流拡散層の存在によって発光効率は上がり、光の利用効率も向上するが、まだ橙色から緑色までの範囲でlcd以上のLEDを得るに十分とはいえない。またGaP基板上にIn<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>P組成勾配層またはIn<sub>1-y</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>y</sub>P組成勾配層を成長させてから発光層を形成する方法によっても光の利用率は向上するが、この場合GaP基板とIn<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pとの間の格子定数の違いを完全には吸収することができず、そのため結晶

欠陥が多くなって内部発光効率が低下し、結果的には1cd以上のLEDが得られない。

【0008】本発明は、以上のような事情によってなされたものであり、発光効率を上げて光を有効に利用することができる半導体発光素子、例えば、InGaAlP四元系混晶を用いた場合のように短波長の光が発する材料を活性層に用いて輝度が1cd以上になるようなLEDを提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、活性層を含む発光層と、この発光層の上に形成され、光取出し面を有する光散乱層と、前記発光層もしくは前記光散乱層の上に形成された光取出し側電極とを備えていることを第1の特徴としている。また、活性層を含む発光層と、この発光層の上に形成された電流拡散層と、この電流拡散層の上に形成され、光取出し面を有する光散乱層と、前記電流拡散層もしくは前記光散乱層の上に形成された光取出し側電極とを備えていることを第2の特徴としている。前記発光層は、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合もしくはホモ接合のいずれかを備えている。前記発光層がInGaAlP系混晶半導体を活性層として備えている半導体発光素子において、前記光散乱層はGaP、ZnS、ZnSeおよびZnSe-ZnSから選ばれる材料を用いることができる。前記光散乱層の厚さは、0.5μm以上であり、その光散乱層の半導体結晶の格子定数は、その底面と接する半導体結晶の格子定数とは0.3%以上異なるようにすることができる。前記発光層の前記光散乱層が形成されている面とは反対側の表面には、半導体基板が設けられ、この半導体基板の前記発光層が形成されている面とは反対側の表面には、基板側電極が設けられており、前記半導体基板のバンドギャップが、前記活性層のバンドギャップとほぼ同じか、あるいはそれより大きいバンドギャップを有するように半導体基板材料を選ぶ場合は、前記基板側電極は、水玉模様の形状にすることができる。さらに、前記光取出し側電極の直下には光反射層を形成することも可能である。

【0010】

【作用】発光層から光取出し面に向った光は、光散乱層の光散乱面の効果により光が外部に出やすくなり、また発光層の下側に反射層がある場合は、発光層から反射層に向った光は反射層で反射し、光取出し面に向い、光散乱面の効果により、より多くの光が外部に出る。この光散乱層の効果を例えば光取出し面が鏡面の場合(InGaAlP-LEDの場合、通常は、鏡面となっている)と比較すると次のようになる。今、光取出し面の下の結晶の屈折率をn、空気の屈折率を1とすると、鏡面の場合光取出し効率 $\eta_c$ は、 $\eta_c = 1/2 [1 - \cos(s \sin^{-1} 1/n)] [1 - (n-1/n+1)^2]$ とあらわされ、n=3.4とすると、 $\eta_c = 0.0155 =$

1.55%となる。また完全光散乱面の場合の $\eta_c$ は、 $\eta_c = 1/2 (1/n)^2 f(n)$ とあらわされ、n=3.4の時、 $f(n) = 0.685$ であるから、 $\eta_c = 0.0296 = 2.96\%$ となる。ここでは、光は発光層から光取出し面側(上方)とその反対側(下方)に放射され下方に向った光は完全吸収すると仮定した。上式の計算結果から分るように、光取出し面が光散乱層に形成されている方が光取出し効果が約2倍向上する。発光層の下側に反射層を設けた場合も、光取出し電極の直下に光反射層を設けた場合も同様な効果が得られる。

【0011】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。図1は、第1の実施例に係る半導体発光素子である発光ダイオードの概略構造を示す断面図である。図示のように、基本的構造は、一方の電極を有する化合物半導体基板1と、この基板上の光反射層6、発光層2、電流拡散層3、光散乱層10及び光取出し側電極5とを含んでいる。光反射層によって基板による光吸収をできるだけ回避し、光散乱層によって光が外部へ出る率を向上させる。図において化合物半導体基板1は、n-GaAsを用いる。この基板1上に、発光波長の1/2程度の厚さのn-InAlPとn-InGaAlPとが交互に積層された多層構造の光反射層6が成長形成されている。この光反射層6の上にはn-InAlPクラッド層21、InGaAlP活性層20およびp-InAlPクラッド層22から構成されるダブルヘテロ構造の発光層2が成長形成されている。このp-InAlPクラッド層22上に、電流が発光層全体に流れるようにして発光層全域で発光させるためのp-GaAlAs電流拡散層3が成長形成されている。さらに、この電流拡散層3上に、本発明の特徴である光散乱層(この実施例では、P-GaP層)10が成長形成されている。また、基板1側には、n側オーミック電極7(基板側電極)が形成され、光散乱層10側にはp型オーミック電極(光取出し側電極)5が形成されている。このp側オーミック電極5は通常のフォトリソエッチングにより所定の形状に形成される。図1の例では、光散乱層10の表面が粗面のため、光取出し電極(p側オーミック電極)のみ光散乱層10をエッチング除去している。しかし、光散乱層10の上に直接光取出し電極を形成することもできる。

【0012】次に、上記半導体発光素子の製造方法について具体的に説明する。各半導体層は、有機金属化学気相成長法(MOVPE法)により成長させた。原料にはトリメチルインジウム(TMI)、トリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)をIII族元素のソースとして、アルシン(AsH<sub>3</sub>)とフォスフィン(PH<sub>3</sub>)をV族元素のソースとして用いた。またP型ドーパントとしてZn、n型ドーパントとしてSiを用いたが、これらはそれぞれジメチル亜鉛(DMZ)、シラン(SiH<sub>4</sub>)をソースとしてドーピングした。

この反応性ガスを水素をキャリアガスとして石英製反応管に輸送して、SiCコーティングしたグラファイトサセプタ上に設置したn-GaAs基板に結晶成長させた。反応管内部の圧力は30~100 Torrであり、基板は800℃程度に加熱される。n-GaAs基板にはSiをドーブし、キャリア濃度は $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度のものを用いた。基板の面方位は(100)である。初めに、n-GaAs基板1上に、n-In<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Pとn-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Pを交互に複数積層して構成された光反射層6を4.3 μm程度成長させる。各半導体層は、Siドーブされ、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、光を効率よく反射するために発光波長の約1/2(約86 nm)の積層周期で交互に積層する。ついで、この光反射層6上に、厚さ1 μmのn-In<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>P(Siドーブ、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )21、厚さ0.6 μmのアンダーブIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>P活性層20、p-In<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>P(Znドーブ、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )クラッド層22からなるダブルヘテロ構造の発光層2を形成する。その後、発光波長に対して透明なp-Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>As(Znドーブ、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )電流拡散層3を7 μm程度成長させる。つぎに、Znをドーブした不純物濃度 $4 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のp-GaP光散乱層10を1 μm程度成長させる。p-GaPの格子定数は、GaAlAsの格子定数と同じでないため格子不整合による不完全成長になるので、p-GaP成長面は、粗面となり、光散乱層が形成される。

【0013】このようにして得られた緑色LED用ウェーハに電極を形成するために、まずp-GaP光散乱層10を、部分的にエッチング除去して光取出し電極(p側電極)5を形成すべき部分を露出させる。つぎに、真空蒸着法によりこのウェーハのn-GaAs基板1側にAuGe合金層4を0.5 μm、p-GaP光散乱層10側にAuBe合金層を0.3 μm蒸着した後、480℃、10分間、Ar雰囲気中でシンタして、オーミックコンタクトを形成する。ついで、再び真空蒸着法によりこのウェーハのAuBe合金層上に純金を1 μm程度堆積し、これを写真蝕刻法により先のp-GaP光散乱層に形成したp-GaAlAs電流拡散層3の露出部のみを除いてAuBe合金層と純金層を取り除く。この様にしてp側電極5がp-GaAlAs電流拡散層3の光沢面に形成される。このような複雑な工程を採用する理由は、自動ワイヤボンディング時の電極検出のために、電極面が光沢を持つ必要があるからである。そして、最後に所定のピッチでダイシングして個々のペレットに分離する。このようにしてp側電極5側を光取出し側とする高効率緑色LEDが完成する。このp側電極5が形成されている面から発光層2で生じた光が外部に取出されるので、この電極が光取出し側電極となる。すなわち、このLEDでは、ダブルヘテロ構造部の活性層で発生した

光は、p側電極5側、基板1側及び側面に向かうことになる。基板1側に向う光は、光反射層6で効率よく反射され、光取出し側に向い、その1部が、光取出し面から取出され、またp型電極5へ向う光も同様にその1部が光取出し面から取り出される。この時、素子の光取出し面が光散乱層になっているために、従来の電流拡散層の光沢面から光を取出す場合よりも約2倍光取出し効率が向上して1 cd以上の緑色LEDが実現する。このように実施例によれば、特別な基板を用いなくても高品質で安価なGaAs基板を使用した緑色領域で発光する高輝度のLEDを作成することができる。低コストで緑色LEDが量産できることはディスプレイ、光通信等の情報産業への貢献が極めて大であるといえる。

【0014】ここで用いた光散乱層としてはGaPに限定されることなく、これと接して形成される電流拡散層の材料の格子定数と異なった格子定数を持ち、かつ、発光色よりエネルギーの高いバンドギャップをもつものなら光散乱層とすることができる。すなわち、格子定数が0.3%以上異なる材料を発光素子の半導体層上に0.5 μm以上堆積させれば本発明の特徴である光散乱層を形成することができる。もともと、各半導体層を結晶性よく成長させなければ結晶面が荒れてしまい特性が劣化するので、隣接する2つの半導体層は、出来るだけ結晶の格子定数を合わせるようにしていた。しかし、ここでは、逆に格子定数をずらすことに特徴があり、このようにすることにより、半導体層の表面を粗面化する。InGaAlP系LEDの場合は、前記GaPの他にZnSe、ZnSもしくはZnSe-ZnSなどの材料が使われる。この実施例において、GaAlAs電流拡散層の格子定数は、InGaAlP発光層の格子定数と約0.13%以下しか相違しないため、GaAlAs電流拡散層の表面は鏡面であるが、その上に成長するGaPの格子定数は、約3.5%GaAlAsとは異なるのでGaP光散乱層の表面に凹凸が形成される。したがって、GaP結晶は、光を効果的に散乱させることができる。ここで半導体結晶の格子定数をあげる。GaPは、5.4512 Å、GaAsは、5.6533 Å、Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Asは、5.6588 Å、Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Asは、5.6595 Åであり、In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pは、GaAsの格子定数とほぼ同じである。なお、実施例では緑色LEDについて説明したが、InGaAlP活性層の組成を適宜変えることにより、容易に黄色、橙色、赤色、赤外LED等にも適用可能になる。

【0015】つぎに、図2を参照して第2の実施例を説明する。不純物濃度が $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度のn-GaAs半導体基板1上に厚さ1 μm、不純物濃度 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ のn-In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pクラッド層21、厚さ0.6 μmのアンダーブIn<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>)<sub>0.5</sub>P活性層20、厚さ1 μm、不

純物濃度  $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  の  $p\text{-In}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$ )、Pクラッド層22、さらに、厚さ  $7 \mu\text{m}$ 、不純物濃度  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  の  $p\text{-Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{As}$  電流拡散層3を順次MOVPE法などで成長させる。つぎに半導体基板1の他の面にAu-Geなどのn側電極4をオーミックコンタクトさせる。つぎに、この電流拡散層3の上にZnをドーブした不純物濃度が  $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  程度の  $p\text{-GaP}$  光散乱層10を  $1 \mu\text{m}$  程度成長させる。この  $p\text{-GaP}$  の格子定数は、この電流拡散層の  $p\text{-GaAlAs}$  の格子定数と一致しないために  $p\text{-GaP}$  は、格子不整合による不完全成長となり、その成長面は、粗面となって、光散乱層10が形成される。ついで、光散乱層10は、部分的にエッチング除去して、電流拡散層3の表面を一部露出させる。そして、この電流拡散層3の露出面にAuBe合金層を蒸着してから純金を  $1 \mu\text{m}$  程度堆積させて、光取出し側電極（p側電極）5を形成する。勿論、この光取出し側電極5は、直接光散乱層10の上に形成することもできる。

【0016】つぎに、図3を参照して第3の実施例を説明する。ここで用いる半導体基板は発光層からの光に対して透明であり、したがって、基板側には光反射層を設けない。この半導体基板1には、例えば、 $n\text{-GaP}$  を用い、活性層には  $\text{InGaAlP}$  を使用する。この  $\text{GaP}$  基板は、 $\text{InGaAlP-LED}$  の発光色（緑色～赤色）に対して透明なため反射層を設ける必要はない。GaP基板に、GaPを発光層とするLEDの場合には問題は生じないが、GaP基板に  $\text{InGaAlP}$  を発光層に用いると、発光層に格子不整合による格子欠陥が多発するために発光効率が低下し、結果的に輝度の高いLEDが得られない。そこで、この実施例では、GaP基板1と  $n\text{-In}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$ )、Pクラッド層21、アンドーブ  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{P}$  ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y$ )、P活性層20、 $p\text{-In}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$ )、Pクラッド層22からなる発光層2との間に、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_y\text{P}$  組成勾配層7 ( $y=1 \rightarrow 0.5$ ) を成長させることにより基板と発光層との間の格子定数の違いを吸収させる方法が採られている。組成勾配層としては、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_y\text{P}$  ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y$ )、P ( $y=1 \rightarrow 0.5$ ) を用いることもできる。この発光層2の上に、発光波長に対して透明な  $p\text{-Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{As}$  電流拡散層3を形成する。この電流拡散層の上に形成される光取出し側電極5および  $p\text{-GaP}$  光散乱層10を前の第2の実施例と同様の方法で形成する。基板側にも電極を形成するが、基板底面での光の反射を効率良く行うために、基板側電極4は、水玉模様の形状にする。電極での光吸収も無視できないので、このような形状にして光の反射が基板底面で均一に行われるようにする。また、水玉形状に限らず、例えば、多角形など任意な形状にしても良い。

【0017】つぎに、図4を参照して第4の実施例を説明する。この実施例では、光取出し側電極の直下に光反

射層を設けて、発光層からこの電極に向かった光を有効に取出すようにしている。図のように、基板側電極4を形成した  $n\text{-GaAs}$  基板1の上に第1の実施例において使用したものと同一第1の光反射層6を形成し、その上に  $n\text{-GaAlAs}$  クラッド層21、アンドーブ  $\text{GaAlAs}$  活性層20、 $p\text{-GaAlAs}$  クラッド層22からなる発光層2を形成する。ここで、クラッド層21は、 $1 \mu\text{m}$  程度、活性層20は、 $0.6 \mu\text{m}$  程度の厚さであるが、光取出し電極が形成される側のクラッド層22は、これらより厚く  $10 \mu\text{m}$  以上にする。このクラッド層22は、 $\text{GaAlAs}$  からなるものであり、しかも、厚く形成してあるので、これ自身が電流拡散層としても用いられ、光取出し電極5電極からの電流をLEDチップ全面に均一に拡散させる事ができる。発光波長の  $1/2$  程度の厚さの  $p\text{-InAlP}$  と  $\text{InGaAlP}$  とが交互に積層された多層構造の第2の光反射層8が、このクラッド層22の上に成長形成される。そして、その上に電極のオーミック性を容易にするための  $p\text{-GaAs}$  コンタクト層9を介して、第1の実施例と同じ材料の光取出し電極5を設け、このクラッド層22の露出している部分に、 $p\text{-GaP}$  光散乱層10を格子の不整合を利用して形成する。このチップに形成される各素子の大きさの一例は、 $0.3 \text{mm}$  角のものがあり、その時の光取出し電極の半径は、例えば、 $0.14 \text{mm}$  程度である。この実施例では、赤色もしくは赤外線LEDが形成される。

【0018】以上、光取出し電極側に光散乱層を形成するに際して、半導体層間の格子の不整合を利用しているが、HClなどの酸を用いて表面を粗面化することも可能である。HClの場合は、光散乱層はGaPが良く、発光効率は  $30 \sim 50\%$  程向上する。また、 $\text{GaAlAs}$  の光散乱層には、 $\text{HNO}_3$  を用いることができる。この硝酸法によれば発光効率は、 $10 \sim 20\%$  程向上する。前述した例では、半導体基板には、 $n$ 型を用いたが、当然  $p$ 型基板を用いることができる。

#### 【0019】

【発明の効果】光取出し電極側（光取出し面）に形成した光散乱層の光散乱面により光は、外部に出やすくなり、発光効率が著しく向上する。また、従来は、各半導体層の格子定数をできる限り一致させていたのに、この発明の光散乱層は、逆に他の半導体層とは格子定数を変えるようにしたので、容易に半導体基板に形成されるようになる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例のLEDの素子構造を示す断面図。

【図2】本発明の第2の実施例のLEDの素子構造を示す断面図。

【図3】本発明の第3の実施例のLEDの素子構造を示す断面図。



11

12

【図4】本発明の第4の実施例のLEDの素子構造を示す断面図。

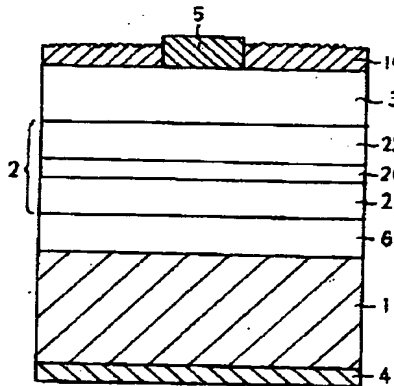
【図5】従来のLEDの素子構造を示す断面図。

【符号の説明】

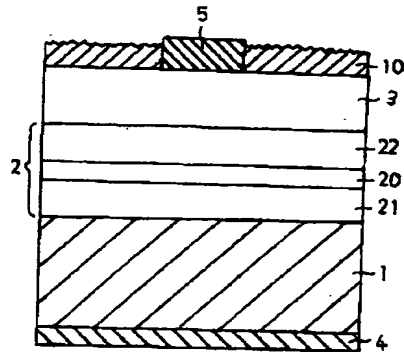
- 1 半導体基板  
2 発光層  
3 電流拡散層

- \* 4 基板側電極  
5 光取出し側電極  
6 光反射層  
7 組成勾配層  
8 光反射層  
9 コンタクト層  
\* 10 光散乱層

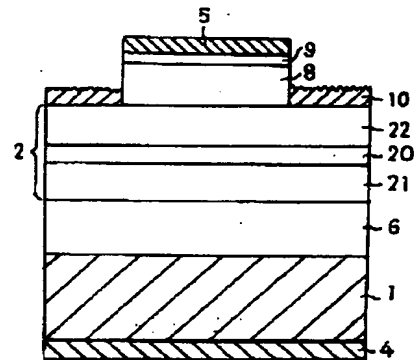
【図1】



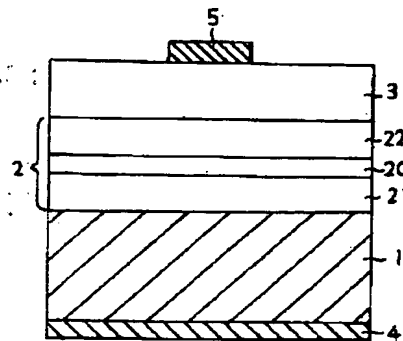
【図2】



【図4】



【図5】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**  
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**